

Способ прямого рафинирования железоникелевого сплава для получения сульфата никеля или других никелевых продуктов

Область техники

Настоящее изобретение относится к прямому рафинированию железоникелевого сплава.

Уровень техники

Железоникелевый (FeNi) сплав обычно используют для изготовления нержавеющей стали. К середине 2020-х годов прогнозируется дефицит сульфата никеля, который используют для производства литий-ионных аккумуляторов.

Краткое описание чертежей

Ниже описаны воплощения настоящего изобретения, только в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые чертежи.

На фиг. 1 представлена схема способа прямого рафинирования ферроникеля (FeNi) в соответствии с одним воплощением настоящего изобретения.

На фиг. 2 представлена блок-схема общего способа получения кристаллизованного сульфата никеля.

Подробное описание изобретения

Настоящее изобретение обеспечивает способ рафинирования железоникелевого сплава, в котором железоникелевый сплав обрабатывают посредством окислительного выщелачивания. Обработка может происходить в присутствии меди или пероксида. В одном воплощении предложен способ прямого рафинирования железоникелевого сплава с получением сульфата никеля или других ценных никелевых продуктов. В одном или более воплощениях предложен способ рафинирования железоникелевого сплава, в котором железоникелевый сплав обрабатывают посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД), возможно в присутствии добавленной меди. В одном или более воплощениях предложен способ рафинирования железоникелевого сплава, в котором железоникелевый сплав выщелачивают в присутствии пероксида. Понятно, что можно использовать другие способы выщелачивания в присутствии или в отсутствие меди, не выходя за рамки сущности изобретения. Например, можно обеспечивать медь в течение процесса выщелачивания железоникелевого сплава.

Железоникелевый сплав можно обрабатывать ОКД в присутствии добавленной меди. Железоникелевый сплав можно обрабатывать посредством прямого кислотного выщелачивания в присутствии добавленной меди. Железоникелевый сплав можно обрабатывать посредством кучного выщелачивания в присутствии добавки меди. Железоникелевый сплав может представлять собой исходное сырье, изначально предназначенное для использования в производстве нержавеющей стали. Железоникелевый сплав может представлять собой любой подходящий сырьевой материал, содержащий железо и никель, такой как железоникелевый сплав, полученный из сапролитового исходного сырья. Железоникелевый сплав можно обрабатывать в сосуде (таком как колонна) в присутствии меди. Железоникелевый сплав можно обрабатывать посредством колонного выщелачивания в присутствии пероксида водорода и серной кислоты, возможно в присутствии добавленной меди.

Железоникелевые сплавы, которые содержат мало меди, могут иметь преимущество при повышенном содержании меди, заключающееся в ускорении выщелачивания, например, при окислительном выщелачивании.

В одном или более воплощениях медь можно добавлять в качестве реагента первого заполнения. Добавленную медь можно растворять при ОКД выщелачивании, а затем удалять посредством цементации. Медь можно удалять посредством цементации на фракции железоникелевого сплава, добавленной после ОКД выщелачивания. Удаленную посредством цементации медь можно рециркулировать обратно в процесс ОКД выщелачивания.

В одном или более воплощениях в процесс можно непрерывно добавлять медь. Добавляемая медь может находиться в форме медного концентрата или раствора сульфата меди. Добавляемая медь может находиться в форме медьсодержащего потока из установки по производству меди. Добавляемую медь впоследствии можно удалять и извлекать любым подходящим способом, например, посредством стадии замены растворителя или другими средствами, такими как электролитическое выделение, и/или цементация, и/или сульфидирование, и/или ионный обмен.

В одном или более воплощениях медь, добавляемую в процесс, добавляют в виде медного концентрата, такого как концентрат сульфида меди или оксида меди, или в виде сульфата меди или любого другого подходящего богатого медью материала. В одном или более воплощениях медь, добавляемую в процесс, можно обрабатывать на стадии предварительного выщелачивания, такой как ОКД выщелачивание, выщелачивание при атмосферном давлении или стадия обжига, для повышения ее растворимости.

В одном или более воплощениях часть отработанного щелока окислительного выщелачивания, содержащего растворимую медь, можно возвращать на окислительное выщелачивание, например, в ОКД автоклав. Отработанный щелок можно возвращать на окислительное выщелачивание для поставки растворимой меди для реакции и/или для обеспечения охлаждающего раствора.

В одном аспекте настоящее изобретение предлагает усовершенствованный способ прямого рафинирования железоникелевого сплава, причем усовершенствование включает добавление меди к железоникелевому сплаву на стадии выщелачивания, такой как окислительное выщелачивание под давлением (ОКД).

В одном аспекте настоящее изобретение обеспечивает способ получения сульфата никеля, или материала для никелевых аккумуляторных батарей, или промежуточного сырья для них, включающий обработку сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания, такого как окислительное выщелачивание под давлением (ОКД) в присутствии добавленной меди, удаление меди и железа, удаление других примесей и кристаллизацию сульфата никеля или осаждение/выделение другого никелевого продукта.

В одном аспекте настоящее изобретение обеспечивает способ получения никелевых продуктов из ферроникеля, который сводит к минимуму остатки и воздействие на окружающую среду посредством получения пригодного для использования гематитового продукта для железа, товарного сульфата калия для сульфата и комбинированного потока концентрированных примесей, подлежащих использованию в качестве сырья для других металлургических процессов.

Если не указано иное, все технические и научные термины, используемые здесь, имеют то же значение, которое обычно понимается специалистом в области, к которой относится данное изобретение.

Используемая в описании и формуле изобретения форма единственного числа включает отсылки на множественное число, если из контекста явно не следует иное. Термин «содержащий», используемый здесь, следует понимать как означающий, что приведенный далее список не является исчерпывающим и может включать или не включать любые другие дополнительные подходящие элементы, например, один или более дополнительных признаков, компонентов и/или ингредиентов, в зависимости от обстоятельств.

Выщелачивание и рафинирование железоникелевого сплава

В настоящем документе предложены процессы и способы рафинирования железоникелевого сплава, в которых железоникелевый сплав обрабатывают посредством окислительного выщелачивания. Окислительное выщелачивание может происходить в присутствии меди. В одном или более воплощениях железоникелевый сплав обрабатывают посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД) в присутствии меди.

Рафинирование железоникелевого сплава может включать обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида. Обработку железоникелевого сплава можно осуществлять в присутствии серной кислоты. В одном или более воплощениях железоникелевый сплав обрабатывают при атмосферном давлении в сосуде, таком как колонна (что может называться колонным выщелачиванием). Обработка может происходить в присутствии пероксида, такого как пероксид водорода, и серной кислоты. Обработка может происходить в присутствии меди. Обработка может происходить в присутствии пероксида и меди. Обработка может происходить в присутствии пероксида водорода, серной кислоты и меди.

Железоникелевый сплав может быть предварительно обработан, или процесс или способ может включать стадию предварительной обработки. Стадия предварительной обработки может включать уменьшение размера частиц, такое как измельчение или гранулирование. Понятно, что можно использовать любую подходящую стадию предварительной обработки. Например, если окислительное выщелачивание представляет собой ОКД выщелачивание, то уменьшение размера частиц может быть предпочтительным, тогда как если окислительное выщелачивание представляет собой выщелачивание в присутствии пероксида и серной кислоты, то уменьшение размера частиц может не потребоваться.

В результате окислительного выщелачивания может быть получен отработанный щелок, и по меньшей мере часть отработанного щелока можно рециркулировать. Например, отработанный щелок можно возвращать на окислительное выщелачивание. Рафинирование железоникелевого сплава может включать как обработку пероксидом, так и обработку ОКД. В таком случае обработка пероксидом может включать обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида с получением первого отработанного щелока, а обработка ОКД может включать обработку первого отработанного щелока посредством ОКД с получением второго отработанного щелока. В таком случае один или оба из первого и второго отработанных щелоков можно рециркулировать. Например, отработанный щелок ОКД (второй отработанный щелок) можно возвращать на обработку пероксидом или на обработку ОКД. Рециркуляция отработанного щелока (такого как

отработанный щелок ОКД) может способствовать снижению потребления кислоты в контуре выщелачивания и/или повышению концентрации никеля в отработанном щелоке.

Используемый в этом документе термин «окисление под давлением» (ОКД) может использоваться взаимозаменяемо с окислительным выщелачиванием под давлением или реакцией окисления под давлением. Окисление под давлением можно проводить в присутствии кислорода и серной кислоты. Окисление под давлением можно проводить при любой подходящей температуре и давлении. Окисление под давлением можно проводить в течение любого подходящего периода времени. ОКД можно проводить в автоклаве. ОКД можно использовать для выщелачивания железоникелевого сплава. ОКД можно использовать для производства железистого продукта, такого как гематит. ОКД можно использовать для рафинирования железоникелевого сплава (такого как железоникелевый сплав в форме продуктивного раствора выщелачивания, богатого железом/никелем), в результате чего получают гематит и отработанный щелок, содержащий растворенный никель. ОКД можно использовать для рафинирования железоникелевого сплава до или после дополнительного окислительного выщелачивания, такого как выщелачивание в присутствии пероксида. Например, железоникелевый сплав можно рафинировать посредством окислительного выщелачивания в присутствии пероксида и серной кислоты и дополнительно рафинировать посредством ОКД. Отработанный щелок со стадии окисления под давлением может называться отработанным щелоком ОКД или вторым отработанным щелоком (в воплощениях, где определен первый отработанный щелок). Отработанный щелок ОКД может представлять собой раствор или суспензию. Если отработанный щелок ОКД представляет собой суспензию, суспензию можно обрабатывать с использованием разделения твердой и жидкой фаз, например, с помощью технологий сгущения и/или фильтрации. Отработанный щелок ОКД можно использовать непосредственно или обрабатывать (например, путем разделения твердой и жидкой фаз) с получением продуктивного раствора выщелачивания, содержащего никель, железо и другие примеси. Если отработанный щелок ОКД обрабатывают путем разделения твердой и жидкой фаз, он также может образовывать твердую фазу или сгущенную суспензию, содержащую гематит и другие нерастворимые компоненты.

Используемый здесь термин «окислительное выщелачивание» может включать любые подходящие условия выщелачивания для выщелачивания железоникелевого сплава, чтобы перевести в раствор по меньшей мере часть железоникелевого сплава, чтобы из него можно было получить никелевый и/или железистый продукт. Окислительное выщелачивание может представлять собой окисление под давлением.

Окислительное выщелачивание можно проводить при атмосферных условиях, например, посредством выщелачивания в сосуде в присутствии по меньшей мере одного окислителя. По меньшей мере один окислитель может включать пероксид, такой как пероксид водорода. В одном или более воплощениях окислитель включает пероксид водорода и серную кислоту. По меньшей мере один окислитель может включать медь с дополнительными окислителями, такими как пероксид, или без них. Сосуд может представлять собой колонну. Окислительное выщелачивание можно проводить с добавлением меди или без него. В одном или более воплощениях медь добавляют на окислительное выщелачивание, такое как ОКД выщелачивание или колонное выщелачивание. Окислительное выщелачивание может обеспечить отработанный щелок. Часть отработанного щелока можно возвращать на окислительное выщелачивание. Окислительное выщелачивание может включать осаждение железа или получение гематита. Отработанный щелок из окислительного выщелачивания можно дополнительно обрабатывать, например, путем удаления твердых частиц, цементации меди, удаления железа, получения сульфата никеля, получения гидроксида никеля или других стадий очистки/предварительной обработки и/или путем включения дополнительных стадий, раскрытых в этом документе.

Используемый в этом документе термин «окислительное выщелачивание» может включать обработку железоникелевого сплава или предварительно обработанного твердого железоникелевого сплава или раствора в присутствии меди. Окислительное выщелачивание в присутствии меди (например, в форме сульфида, оксида или сульфата) можно называть «обработкой медью». Обработка медью может быть единственной стадией окислительного выщелачивания или может осуществляться в дополнение к дополнительным стадиям окислительного выщелачивания. В одном или более воплощениях обработка медью представляет собой процесс колонного выщелачивания. Обработка медью может происходить за одну стадию или за множество стадий. Если обработку медью проводят за множество стадий, каждая стадия может варьироваться по pH и/или окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП) до подходящих уровней. В таком случае ионы трехвалентного железа Fe(III) могут быть частично или полностью преобразованы в ионы двухвалентного железа Fe(II) путем добавления восстановителей, таких как частицы железоникелевого сплава и/или диоксид серы (SO₂) перед обработкой ОКД для получения гематита. В одном или более воплощениях способ включает обработку медью с получением первого отработанного щелока. Первый отработанный щелок можно возвращать на обработку медью, так что обработка медью осуществляется за множество стадий. Первый отработанный щелок можно подавать на обработку ОКД, и

в этом случае обработка ОКД может заключаться в дополнительном выщелачивании железоникелевого сплава и/или осаждении гематита с получением второго отработанного щелока. Второй отработанный щелок можно возвращать выше по потоку, например, на стадию окислительного выщелачивания. В одном или более воплощениях второй отработанный щелок можно возвращать на стадию обработки медью. Второй отработанный щелок можно дополнительно обрабатывать, например, для кристаллизации из него сульфата никеля. Процессы и способы, описанные в данном документе, могут включать стадию обработки медью, такую как описанные выше, или стадия обработки медью может быть исключена. Следует понимать, что процесс или способ может включать другую форму стадии окислительного выщелачивания, такую как обработка пероксидом или обработка ОКД, и стадию окислительного выщелачивания можно проводить в присутствии или в отсутствие добавленной меди.

Используемый в этом документе термин «обработка пероксидом» может включать обработку железоникелевого сплава или предварительно обработанного твердого железоникелевого сплава или раствора в присутствии пероксида. Обработку пероксидом можно проводить в присутствии пероксида водорода и серной кислоты. В одном или более воплощениях обработка пероксидом представляет собой процесс колонного выщелачивания и вместо этого может называться колонным выщелачиванием. Обработку пероксидом можно проводить за одну стадию или за множество стадий. Если обработку пероксидом проводят за множество стадий, на каждой стадии можно варьировать pH и/или окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) до подходящих уровней. В таком случае ионы трехвалентного железа Fe(III) могут быть частично или полностью преобразованы в ионы двухвалентного железа Fe(II) путем добавления восстановителей, таких как частицы железоникелевого сплава и/или диоксид серы (SO₂) перед обработкой ОКД для получения гематита. В одном или более воплощениях способ включает обработку пероксидом с получением первого отработанного щелока. Первый отработанный щелок можно возвращать на обработку пероксидом, так что обработку пероксидом проводят за множество стадий. Первый отработанный щелок можно подавать на обработку ОКД, и в этом случае обработка ОКД может заключаться в дополнительном выщелачивании железоникелевого сплава и/или осаждении гематита с получением второго отработанного щелока. Второй отработанный щелок можно возвращать выше по потоку, например, на стадию окислительного выщелачивания. В одном или более воплощениях второй отработанный щелок можно возвращать на стадию обработки пероксидом для повторного использования кислоты. Второй отработанный щелок можно дополнительно обрабатывать, например, для кристаллизации из него сульфата никеля.

В одном или более воплощениях медь, присутствующая на стадии выщелачивания, можно удалять цементацией после обработки выщелачиванием. Медь, образовавшуюся на стадии цементации меди, можно использовать в другом месте в процессе или способе. В одном или более воплощениях медь, образовавшуюся на стадии цементации меди, можно рециркулировать на стадию выщелачивания, такую как окислительное выщелачивание. Понятно, что медь можно удалять любым подходящим способом, таким как цементация, замена растворителя, электролитическое выделение, сульфидирование и/или ионный обмен.

Используемый в этом документе термин «цементация меди» может относиться к процессу осаждения солюбилизованных ионов меди.

В одном или более воплощениях процесс или способ включает удаление железа.

Используемый в этом документе термин «удаление железа» может относиться к процессу осаждения солюбилизованных ионов железа или к процессу ионного обмена. Например, процесс удаления железа может включать осаждение железа с образованием гематита. Раскрытые в этом документе способы могут включать стадию получения гематита. Стадия получения гематита может представлять собой процесс ОКД. Способ может включать стадию окислительного выщелачивания и стадию получения гематита, однако следует понимать, что эти две стадии могут происходить одновременно. Например, способ может включать обработку ОКД как для выщелачивания железоникелевого сплава, так и для образования гематита для удаления железа. В одном или более воплощениях способ может включать окислительное выщелачивание, такое как обработка пероксидом, для выщелачивания железоникелевого сплава, и такой способ может дополнительно включать отдельную стадию получения гематита, такую как обработка ОКД, для осаждения растворенного железа и образования гематита. Стадия получения гематита может включать образование основного сульфата трехвалентного железа. Основной сульфат трехвалентного железа можно солюбилизовать, например, в кислых условиях, и повторно растворять, например, во время мгновенного испарения. Раскрытые в этом документе способы могут включать образование побочных продуктов железа. Способ может включать образование побочных железистых продуктов вместо получения гематита или в дополнение к нему. Побочные железистые продукты могут включать ярозит или гетит. Образование побочных железистых продуктов может зависеть от условий и других стадий в способе.

В одном или более воплощениях способ, описанный в настоящем документе, включает очистку водного раствора, содержащего сульфат никеля (например, продуктивный раствор выщелачивания (ПРВ) на сульфатной основе), где ПРВ подвергают

любой одной стадии очистки или их сочетанию (также называемым в этом документе стадиями удаления примесей или компонентов) для удаления определенных примесей или компонентов. Термины продуктивный раствор выщелачивания (ПРВ) и отработанный щелок (например, отработанный щелок окислительного выщелачивания или отработанный щелок ОКД) могут использоваться в этом документе взаимозаменяемо для обозначения водного раствора, содержащего сульфат никеля. Любой подходящий раствор, содержащий сульфат никеля, можно использовать для дальнейшей очистки, например, для кристаллизации сульфата никеля.

После выщелачивания ПРВ можно подвергать одной или более стадиям очистки для очистки ПРВ путем удаления одной или более примесей или компонентов. Тип и количество удаляемых примесей или компонентов зависит, по меньшей мере частично, от типа сырья, из которого получают ПРВ, а также от характеристик конечного продукта, получаемого в способе (например, чистота, качество сульфата никеля (NiSO_4)). Примеры примесей или компонентов, подлежащих удалению, включают, помимо прочего, натрий (Na), алюминий (Al), железо (Fe), медь (Cu), цинк (Zn), литий (Li), кобальт (Co) и марганец (Mn). Когда требуются сульфаты никеля аккумуляторного качества, существуют определенные технические характеристики продукта (например, предельные значения) для таких примесей, которые допускаются, и концентрация любых таких примесей, которые присутствуют в технологическом сырье, воде или реагентах в количестве, превышающем указанные технические характеристики продукта, должна быть снижена.

Существует много подходящих способов удаления примесей или компонентов из ПРВ. Такие способы включают, но не ограничиваются перечисленным, осаждение, выщелачивание при атмосферном давлении или под давлением, сульфидирование, экстракцию растворителем, ионный обмен и цементацию. Выбор подходящего способа (и его рабочих условий) зависит, по меньшей мере частично, от типа и количества удаляемых примесей или компонентов, а также от технических характеристик конечного продукта, получаемого в способе. Например, медь можно удалять путем осаждения, экстракции растворителем, сульфидирования, цементации или ионного обмена и т.д.; железо и алюминий можно удалять путем осаждения или ионного обмена и т.д.; цинк можно удалять путем сульфидирования, экстракции растворителем или ионного обмена и т.д., а кобальт можно удалять путем экстракции растворителем, ионного обмена или окислительного осаждения, и т.д. Условия и рабочие параметры для каждого способа общеизвестны и могут быть выбраны в зависимости от типа и количества удаляемой примеси или компонента.

Например, цементация представляет собой процесс, включающий окислительно-восстановительную реакцию между ионом первого металла и первым твердым металлом, посредством которой ион первого металла восстанавливается до второго твердого металла, а первый твердый металл, в свою очередь, окисляется до иона второго металла. Цементация может быть выбрана для удаления, например, меди, потому что она может добавить ценные металлы в процесс (например, путем добавления Ni, если в качестве первого твердого металла используют порошок никеля) без использования других реагентов, и/или потому что это позволяет удалять примеси (например, путем восстановления) без добавления в процесс кислотных или основных реагентов.

Стадии очистки для удаления примесей или компонентов из ПРВ могут быть выбраны так, чтобы свести к минимуму использование кислотных или основных реагентов. Например, Cu можно удалять с помощью цементации с никелевым порошком, для чего требуется небольшое количество кислоты и не требуется основание, и при этом не образуется кислота; напротив, для удаления Cu экстракцией растворителем (SX) требуется один моль серной кислоты на моль удаляемой Cu, и вся указанная добавленная кислота должна быть нейтрализована основанием ниже по потоку. В другом примере Cu можно удалять посредством цементации с исходными частицами ферроникеля через одноступенчатые или многоступенчатые колонны или гранулированными/измельченными железоникелевыми материалами в сосуде (таком как бак). Другие примеси, такие как Fe и Al, можно удалять путем осаждения посредством повышения pH (например, примерно до 5,5), что требует добавления основания, но не добавления кислоты, при этом основание можно вводить в виде внешнего нейтрализующего агента или в виде соли основного металла, образующейся ниже по потоку. Напротив, удаление Fe и Al с помощью ионного обмена (IX) требует добавления основания для загрузки Fe и Al в ионообменную колонку, а также добавления кислоты для удаления Fe и Al из ионообменной колонки, а также дополнительных реагентов или технологических стадий по преобразованию таких примесей в утилизируемую форму.

Получение никелевых продуктов

В одном или более воплощениях процесс или способ включает кристаллизацию сульфата никеля или осаждение/выделение другого никелевого продукта.

В одном или более воплощениях выщелачивание (и рафинирование) железоникелевого сплава приводит к получению раствора сульфата никеля или твердого вещества (например, продуктивный раствор выщелачивания (ПРВ) или отработанный щелок ОКД). Водный раствор, содержащий сульфат никеля, можно кристаллизовать с

образованием кристаллизованного сульфата никеля, такого как сульфат никеля аккумуляторного качества. В одном или более воплощениях можно обеспечить способ получения сульфата металла, такого как сульфат никеля или сульфат никеля и кобальта. В одном или более воплощениях можно обеспечить способ получения сульфата никеля, включающий: кристаллизацию сульфата никеля из водного раствора с образованием кристаллизованного сульфата никеля в маточном растворе, причем маточный раствор содержит не кристаллизованный сульфат никеля; отделение кристаллизованного сульфата никеля от маточного раствора. Способ может дополнительно включать подщелачивание части маточного раствора для превращения не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля. Основная соль никеля может представлять собой гидроксид никеля. Основную соль никеля можно использовать выше по потоку от кристаллизации сульфата никеля.

В одном или более воплощениях способа, описанного в настоящем документе, использование основной соли никеля выше по потоку может включать превращение основной соли никеля обратно в не кристаллизованный сульфат никеля. Превращение основной соли никеля обратно в не кристаллизованный сульфат никеля может включать использование основной соли никеля в качестве первого нейтрализующего агента для нейтрализации кислоты выше по потоку от кристаллизации сульфата никеля. Подщелачивание части маточного раствора для превращения не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля может дополнительно включать: удаление маточного раствора и регулирование скорости выпуска для получения количества основной соли никеля, которое по меньшей мере приблизительно эквивалентно количеству кислоты, подлежащей нейтрализации перед кристаллизацией сульфата никеля. Использование основной соли никеля в качестве первого нейтрализующего агента может включать использование основной соли никеля в качестве первого нейтрализующего агента на стадии выщелачивания или включает использование основной соли никеля в качестве первого нейтрализующего агента на стадии очистки.

В одном или более воплощениях описанного в этом документе способа подщелачивание части маточного раствора может включать использование второго нейтрализующего агента для превращения не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля. Второй нейтрализующий агент может представлять собой гидроксид натрия, и гидроксид натрия может быть превращен в сульфат натрия при превращении не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля. Способ может дополнительно включать превращение сульфата натрия обратно в гидроксид натрия посредством электролиза. Второй нейтрализующий агент может представлять

собой любое соединение из гидроксида калия, гидроксида кальция, гидроксида лития или оксида магния, или их сочетание. Использование любого соединения из гидроксида калия, гидроксида кальция, гидроксида лития или оксида магния, или их сочетания, может привести к образованию любого сульфата из сульфата калия, сульфата кальция, сульфата лития или сульфата магния, или их сочетания, в качестве побочного продукта.

В одном или более воплощениях описанного в этом документе способа, способ может дополнительно включать кристаллизацию не кристаллизованного сульфата никеля. Кристаллизация сульфата никеля может дополнительно включать выпуск маточного раствора и регулирование скорости выпуска для селективного ингибирования кристаллизации примеси при кристаллизации сульфата никеля. Кристаллизация сульфата никеля может дополнительно включать регулирование количества свободной воды в кристаллизаторе для селективного ингибирования кристаллизации примеси при кристаллизации сульфата никеля. Регулирование количества свободной воды может включать регулирование скорости испарения воды из кристаллизатора или регулирование добавления воды в кристаллизатор. Примесь может включать литий, натрий, калий, магний или аммоний. Используемый в этом документе термин «примесь» относится к компоненту сырья, который не является сульфатом никеля, как описано в этом документе, или не способствует образованию сульфата никеля или кристаллизованного сульфата никеля, как описано в этом документе. Как используют в этом документе «примесь», однажды выделенная из исходного сырья, может быть полезным, ценным или востребованным материалом.

В одном или более воплощениях описанного в этом документе способа, способ может дополнительно включать выделение основной соли никеля из маточного раствора. Выделение основной соли никеля может включать использование одностадийного или двухстадийного контура осаждения и селективное осаждение основной соли никеля. Основная соль никеля может содержать гидроксид никеля.

В одном или более воплощениях описанного в этом документе способа, кристаллизованный сульфат никеля может представлять собой кристаллизованный сульфат никеля аккумуляторного качества или кристаллизованный сульфат никеля электролитического качества. Из кристаллизованных сульфатов никеля, выделенных в процессе, некоторые могут представлять собой гидраты сульфата никеля (например, кристаллизованные сульфаты никеля и молекулы воды, объединенные в различных отношениях как неотъемлемая часть кристалла; например, отношение одной молекулы воды на сульфат никеля, или шести молекул воды на сульфат никеля, или семи молекул воды на сульфат никеля).

В одном или более воплощениях способ, описанный в этом документе, может дополнительно включать очистку водного раствора, содержащего сульфат никеля (например, продуктивного раствора выщелачивания (ПРВ) на сульфатной основе), где ПРВ подвергают любой одной стадии очистки или их сочетанию (также называемым в этом документе стадиями удаления примесей или компонентов), для удаления определенных примесей или компонентов, таких как: Cu (например, путем сульфидирования, экстракции растворителем, цементации, ионного обмена и т.д.), Fe и Al (например, путем осаждения, ионного обмена и т.д.), Zn (например, путем сульфидирования, экстракции растворителем, ионного обмена и т.д.), Co (например, путем экстракции растворителем, ионного обмена, осаждения и т.д.), Ca (например, путем экстракции растворителем, ионного обмен и т.д.) или Mg (например, путем экстракции растворителем, ионного обмена и т.д.). Затем очищенный ПРВ можно вводить в кристаллизатор в условиях, достаточных для селективной кристаллизации сульфата никеля (NiSO_4) из очищенного ПРВ с получением кристаллизованных сульфатов никеля в маточном растворе (например, через кристаллизатор с принудительной циркуляцией под вакуумом и т.д., относительно лития, магния, натрия, калия или аммония в зависимости от исходного сырья). Эти кристаллизованные сульфаты никеля затем выделяют из маточного раствора (например, выгружают из кристаллизатора). Если одного цикла кристаллизации (например, с использованием одного кристаллизатора) недостаточно для получения кристаллизованных сульфатов никеля (что может произойти, например, с сырьем, содержащим более высокие концентрации примесей), кристаллы, выгруженные из кристаллизатора, можно растворять в чистой воде с образованием водных сульфатных растворов перед введением во второй цикл кристаллизации (например, с использованием второго кристаллизатора) для перекристаллизации.

После кристаллизации маточный раствор может содержать нежелательные соли/металлы (например, Li_2SO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 , CoSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2SO_4 и т.д.), а также сульфаты никеля, которые не кристаллизовались из раствора (также называемые в этом документе не кристаллизованным сульфатом никеля). Для селективного извлечения этих не кристаллизованных сульфатов никеля из оставшихся в растворе нежелательных материалов маточный раствор отводят из кристаллизатора(ов) и подщелачивают для превращения не кристаллизованных сульфатов никеля в основные соли никеля, такие как гидроксиды никеля ($\text{Ni}(\text{OH})_2$). Эти гидроксиды никеля можно использовать выше по потоку для нейтрализации кислот, введенных во время выщелачивания, при котором образуется ПРВ, и/или на стадиях очистки способа, таким образом превращая гидроксиды никеля обратно в сульфаты никеля, которые затем можно выделить путем

кристаллизации. Перед использованием выше по потоку гидроксиды никеля можно выделять из маточного раствора и промывать, а также можно повторно суспендировать в воде для переноса, что может ограничить воздействие воздуха и, таким образом, ограничить окисление гидроксидов.

В дополнение или вместо использования гидроксидов никеля в качестве нейтрализующих агентов в способе можно использовать внешние источники нейтрализующих агентов (например, добавляемые оксиды, гидроксиды) для подщелачивания маточного раствора, выходящего из кристаллизатора, и, возможно, для нейтрализации кислот, введенных во время выщелачивания и/или очистки. Эти внешние нейтрализующие агенты выбирают либо по их способности регенерироваться из их отработанного продукта (например, посредством электролиза и т.д.), чтобы свести к минимуму или избежать образования потоков отходов (например, CaO/CaCO_3 в качестве агентов, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в качестве отработанного продукта; NaOH в качестве агента, Na_2SO_4 в качестве отработанного продукта), или за их способность создавать более ценные побочные продукты (например, KOH в качестве агента, K_2SO_4 в качестве побочного продукта).

В одном или более воплощениях настоящего изобретения предложен способ, изображенный на фиг. 1 или фиг. 2, или описанный в примере 1. В одном или более воплощениях процессов и способов по настоящему изобретению предусмотрена обработка, как показано на фиг. 2, где стадии выщелачивания и очистки включают предварительную обработку исходного сырья из железоникелевого сплава, описанного в этом документе, с получением подвергнутого предварительному выщелачиванию сырья и обработку подвергнутого предварительному выщелачиванию сырья на стадиях выщелачивания и очистки с образованием очищенного раствора выщелачивания, содержащего не кристаллизованный сульфат никеля; стадия кристаллизации включает введение очищенного раствора выщелачивания в кристаллизатор и образование кристаллизованного сульфата никеля в маточном растворе, причем маточный раствор содержит остаточный не кристаллизованный сульфат никеля, и отделение кристаллизованного сульфата никеля от маточного раствора, и стадия подщелачивания включает подщелачивание части маточного раствора для превращения оставшегося не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля, и использование основной соли никеля выше по потоку от кристаллизации сульфата никеля, например, в качестве нейтрализующего агента для нейтрализации кислоты выше по потоку от кристаллизации сульфата никеля.

Процессы и способы, описанные в настоящем документе, могут включать кристаллизацию сульфата металла из водного раствора с образованием кристаллизованного сульфата металла, такого как сульфат никеля, сульфат кобальта или их сочетания. Водный раствор, такой как очищенный ПРВ, можно вводить в кристаллизатор в условиях, достаточных для селективной кристаллизации сульфата металла из раствора. Такая селективная кристаллизация происходит относительно таких компонентов, как литий, натрий, калий, магний, аммоний, которые остаются в очищенном ПРВ (в зависимости от исходного сырья), с получением одного или более кристаллизованных сульфатов металлов в маточном растворе.

Различные типы кристаллизаторов могут быть подходящими для выполнения селективной кристаллизации или совместной кристаллизации сульфатов металлов, такой как кристаллизация сульфата никеля или совместная кристаллизация сульфатов никеля и кобальта. Такие кристаллизаторы включают, но не ограничиваются перечисленным, испарительные кристаллизаторы, кристаллизаторы с принудительной циркуляцией (ПЦ), кристаллизаторы с косвенной принудительной циркуляцией (КПЦ) и кристаллизаторы с перегородкой с отводной трубой (ПОТ). Условия и рабочие параметры таких кристаллизаторов можно выбирать в зависимости от типа и чистоты кристаллизуемого сульфата никеля и/или типа и концентрации примесей в ПРВ. Например, если используют кристаллизатор КПЦ или ПОТ, при кристаллизации сульфатов никеля могут образовываться более крупные кристаллы, это может ингибировать захват примесей во время указанной кристаллизации, таких как литий, натрий, магний и/или калий. Если используют кристаллизатор с принудительной циркуляцией, он может работать под вакуумом для мгновенного охлаждения ПРВ до температур окружающей среды (например, примерно 25°C), что, в свою очередь, может способствовать испарению воды и кристаллизации сульфата металла. В таких случаях количество испаряемой свободной воды может быть меньше количества, необходимого для достижения точки насыщения некоторых примесей, таких как литий или натрий. Когда кристаллизатор используют для селективной кристаллизации сульфата никеля относительно примесей, таких как литий и натрий, кристаллизатор можно эксплуатировать при уровне pH от 1 до 5 или от 1,5 до 2,5. В некоторых воплощениях эффективным является уровень pH менее 0, менее 1,5 или от 0,5 до 1,5.

Условия и рабочие параметры кристаллизатора можно выбирать для селективной кристаллизации сульфата никеля относительно других сульфатов и компонентов (например, примесей) в растворе. Условия и рабочие параметры кристаллизатора можно выбирать для селективной совместной кристаллизации сульфатов никеля и кобальта

относительно других сульфатов и компонентов (например, примесей) в растворе. Условия и рабочие параметры кристаллизатора также можно выбирать для управления чистотой кристаллизованных сульфатов металлов. Выпуск маточного раствора из кристаллизатора во время кристаллизации и скорость, с которой происходит выпуск, могут влиять на чистоту кристаллизованных сульфатов никеля, например, путем селективного ингибирования кристаллизации примесей. Как используют в данном документе, выбор скорости выпуска для селективного ингибирования кристаллизации конкретной примеси означает установку скорости выпуска из кристаллизатора в пределах диапазона возможных скоростей выпуска, которая ингибирует кристаллизацию конкретной примеси в большей степени, чем она могла бы ингибировать кристаллизацию другой примеси. Скорость выпуска можно выбирать таким образом, чтобы максимально ингибировать кристаллизацию конкретной примеси. Примеси могут представлять собой натрий, калий, магний и т.д. Использование более высокой скорости выпуска маточного раствора помогает поддерживать более низкие концентрации примесей и других компонентов в маточном растворе, которые могут повлиять на чистоту кристаллизованных сульфатов никеля.

Кроме того, растворимость примесей может зависеть от температуры, следовательно, выбор температуры кристаллизатора, а также скоростей выпуска из кристаллизатора может быть эффективным для управления чистотой кристаллизуемого сульфата (сульфатов) металла.

Растворимость примесей также может зависеть от количества свободной воды, присутствующей в ПРВ и/или маточном растворе, следовательно, управление уровнями воды в кристаллизаторе может быть эффективным средством управления чистотой кристаллизуемого сульфата (сульфатов) металла. Например, в некоторых случаях сульфаты металлов кристаллизуются из раствора в виде гидратов сульфатов металлов (т.е. кристаллизованные сульфаты металлов и молекулы воды, объединенные в определенном соотношении как неотъемлемая часть кристалла), что снижает концентрацию воды в маточном растворе. При уменьшении концентрации свободной воды концентрация примесей (например, лития, натрия, калия, магния и т.д.) в маточном растворе также может увеличиваться до такой степени, что они кристаллизуются из раствора и влияют на чистоту кристаллизованных сульфатов металлов. Однако, если к ПРВ и/или маточному раствору добавляют достаточное количество воды в кристаллизаторе, или если такое количество избыточной воды остается в ПРВ после предварительной обработки (например, по меньшей мере столько же воды, сколько ожидается потерять из-за

образования гидратов), присутствие этой свободной воды может препятствовать кристаллизации примесей из раствора.

Кристаллизованные сульфаты металлов, такие как сульфаты никеля или сульфаты никеля и кобальта, можно выделять из маточного раствора путем их выпуска из кристаллизатора. Например, кристаллизованные сульфаты металлов можно выпускать в виде суспензии, которую пропускают через фильтр или центрифугу для отделения кристаллов от маточного раствора. Фильтрат или концентрат (т.е. маточный раствор) затем можно возвращать в кристаллизатор или его часть можно выпускать, и выделенные кристаллы можно промывать на фильтре или центрифуге и высушивать. В некоторых случаях использования только одного кристаллизатора недостаточно для получения достаточно чистых кристаллизованных сульфатов металлов, например, когда ПРВ образуется из более загрязненного сырья. Кристаллы, выгруженные из первого кристаллизатора, затем можно растворять в воде (например, в чистой воде) перед введением во второй кристаллизатор для перекристаллизации и дальнейшей очистки.

В некоторых воплощениях описанный в этом документе способ может способствовать снижению капитальных и эксплуатационных затрат путем использования кристаллизатора для выделения кристаллизованных сульфатов металлов вместо контуров экстракции растворителем. Хотя кристаллизация требует затрат энергии, она не требует использования дополнительных реагентов, что способствует снижению эксплуатационных затрат. Кроме того, капитальные затраты, связанные с кристаллизацией, ниже, чем затраты, связанные с контурами экстракции растворителем.

В других воплощениях описанный в этом документе способ снижает капитальные и эксплуатационные затраты путем сокращения использования реагентов. Например, контур экстракции никеля растворителем для образования сульфата никеля требует расхода 1 моля серной кислоты и 2 молей гидроксида натрия на моль полученного сульфата никеля. Напротив, кристаллизация не требует использования каких-либо добавленных реагентов. Описанный в этом документе способ может способствовать снижению использования реагентов, даже если стадия экстракции растворителем используется как часть стадии очистки, поскольку указанная экстракция растворителем, как правило, испытывает меньшую нагрузку (т.е. примеси при более низких концентрациях) и, таким образом, требует меньшего количества кислоты и основания. В некоторых воплощениях описанный в этом документе способ может способствовать снижению капитальных и эксплуатационных затрат путем уменьшения количества стадий обработки. Снижение количества технологических стадий не только снижает капитальные и эксплуатационные затраты, но также снижает сложность процесса и, следовательно,

снижает сложность инфраструктуры и набора навыков, необходимых для проведения процесса. Например, экстракция растворителем представляет собой относительно сложную единичную операцию, требующую нескольких стадий экстракции, мокрой очистки и отпарки и требующую систем для очистки водных стоков, удаления шлама, рекуперации органических паров и противопожарной защиты. Используя кристаллизатор для выделения кристаллизованных сульфатов никеля вместо контуров экстракции растворителем, такую сложность процесса (и связанные с этим затраты) можно уменьшить или вообще устранить.

В других воплощениях описанный в этом документе способ может способствовать увеличению выхода кристаллизованных сульфатов металлов путем уменьшения или предотвращения добавления конкретных примесей или компонентов на стадиях выщелачивания и/или очистки способа, таких как литий, натрий, калий или магний. Например, по мере увеличения выхода кристаллизованных сульфатов никеля в кристаллизаторе за один проход концентрация примесей, таких как литий, натрий и т.д., в маточном растворе также может увеличиваться. В результате скорость выпуска из кристаллизатора также должна увеличиваться для управления чистотой кристаллизованных сульфатов никеля (например, путем ингибирования или предотвращения приближения примесей к их концентрациям насыщения в маточном растворе). Однако увеличение скорости выпуска кристаллизатора может привести к неэффективности, поскольку выпускаемые не кристаллизованные сульфаты никеля будут подщелачиваться и осаждаться, расходуя реагенты. Таким образом, уменьшение или предотвращение добавления этих примесей на стадиях выщелачивания и/или очистки способа означает, что кристаллизатор может быть способен работать с более низкой скоростью выпуска, избегая совместной кристаллизации примесей с сульфатами никеля, что может улучшить выход кристаллизованного сульфата никеля за один проход, а также снизить эксплуатационные расходы. В одном или более воплощениях способа по настоящему изобретению добавление определенных примесей (например, лития, натрия, магния и т.д.) можно уменьшить или предотвратить путем использования основных солей металлов (например, гидроксидов металлов $\text{Ni}(\text{OH})_2$, $\text{Co}(\text{OH})_2$, $\text{Mn}(\text{OH})_2$ и т.д.), выпадающих в осадок из маточного раствора, выпускаемого из кристаллизатора. В некоторых воплощениях можно тщательно регулировать осаждение и промывку основных солей металлов (например, путем выбора уровней pH, использования двухступенчатых контуров осаждения и т.д.) для уменьшения или предотвращения осаждения примесей (например, лития, натрия, магния и т.д.) в основные соли металлов.

В некоторых воплощениях описанный в этом документе способ может повышать выход кристаллизованных сульфатов никеля посредством использования контура выделения и подщелачивания маточных растворов кристаллизации для превращения не кристаллизованных сульфатов никеля в растворе в основные соли никеля (например, гидроксиды никеля) и использования этих основных солей никеля в качестве нейтрализующих агентов с превращением солей обратно в сульфаты никеля для кристаллизации. Повторяющийся характер контура может помочь обеспечить хорошее извлечение кристаллизованных сульфатов никеля.

В других воплощениях описанный в этом документе способ может уменьшить или исключить сульфат натрия как поток отходов путем регенерации гидроксида натрия из сульфата натрия. Сульфат натрия является побочным продуктом, товарность которого, как правило, невысока, и потенциально может стать дорогостоящим отходом как с экологической, так и с финансовой точки зрения.

Подщелачивание

Процессы и способы, описанные в данном документе, могут включать подщелачивание части маточного раствора. Подщелачивание части маточного раствора можно осуществлять для превращения не кристаллизованного сульфата металла в основную соль металла. Подщелачивание части маточного раствора можно осуществлять для превращения не кристаллизованного сульфата металла (такого как сульфат никеля или сульфат никеля и кобальта) в основную соль металла (такую как гидроксид никеля или гидроксид никеля и кобальта). Подщелачивание части маточного раствора можно осуществлять для превращения не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля, такую как гидроксид никеля. В одном или более воплощениях способа, описанного в настоящем документе, способ может включать подщелачивание части маточного раствора с использованием второго нейтрализующего агента для превращения не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля. В одном или более воплощениях превращение основной соли никеля обратно в не кристаллизованный сульфат никеля может включать использование основной соли никеля в качестве первого нейтрализующего агента для нейтрализации кислоты выше по потоку от кристаллизации сульфата никеля.

Маточный раствор кристаллизации содержит не кристаллизованные сульфаты металлов (таких как никель или никель и кобальт), в дополнение к другим примесям и компонентам, таким как соли и металлы, например, Li_2SO_4 , Na_2SO_4 и т.д. Следует понимать, что последующее обсуждение сульфатов никеля можно также применять к

сульфатам других металлов, таким как сульфаты никеля и кобальта. Для селективного извлечения этих не кристаллизованных сульфатов никеля и образования основных солей никеля для использования выше по потоку в качестве нейтрализующих агентов (также называемых здесь первыми нейтрализующими агентами), маточный раствор можно выпускать из кристаллизатора и подщелачивать для превращения не кристаллизованных сульфатов никеля, оставшихся в маточном растворе, в указанные основные соли никеля, такие как гидроксид никеля ($\text{Ni}(\text{OH})_2$). При подщелачивании маточного раствора можно добавлять достаточное количество основания, чтобы повысить уровень pH до 7,5-10 или 7,5-9,5. Полученные гидроксиды никеля осаждаются из маточного раствора, и их можно выделять из маточного раствора фильтрованием и промывать с образованием кека, а также можно повторно подвергать суспендированию с образованием суспензии. Например, гидроксиды никеля можно выделять фильтрованием, сгущением и фильтрованием или центрифугированием, а затем промывать на фильтре или центрифуге с образованием кека. По меньшей мере часть кека можно направлять в бак повторного суспендирования для суспендирования с использованием воды или технологических растворов. Гидроксиды никеля можно селективно осаждать из маточного раствора, например, через одноступенчатый или двухступенчатый контур осаждения. Контуры осаждения можно использовать для селективного осаждения гидроксидов никеля относительно примесей в гидроксидах никеля благодаря их присутствию в маточном растворе.

В одном или более воплощениях гидроксиды металлов (такие как гидроксиды никеля и/или кобальта) можно вводить в процесс выше по потоку. Например, гидроксид никеля можно использовать в качестве нейтрализующего агента для нейтрализации кислот, вводимых на стадиях выщелачивания и/или очистки. Например, на стадию выщелачивания можно вводить примерно от 0% до 40% гидроксидов никеля (например, в виде кека), и примерно от 60% до 100% гидроксидов никеля (например, в виде кека) можно вводить на стадии очистки. Использование гидроксидов никеля в качестве нейтрализующего агента снижает и/или устраняет необходимость введения внешних нейтрализующих агентов, это снижает использование реагентов (и связанные с этим затраты), а также снижает и/или устраняет дополнительные источники примесей, которые могут повлиять на чистоту продукта (например, примесные катионы металлов из внешнего нейтрализующего агента), и в противном случае потребовалось бы увеличение скорости выпуска кристаллизатора, чтобы избежать совместного осаждения примесей и загрязнения кристаллизованных сульфатов никеля. В некоторых случаях, чтобы способствовать обеспечению достаточного количества основных солей никеля, например,

гидроксидов никеля, доступных для использования в качестве нейтрализующего агента, скорость, с которой маточный раствор выпускают из кристаллизатора и подщелачивают с образованием гидроксидов никеля можно регулировать таким образом, чтобы количество образующихся гидроксидов никеля было по меньшей мере приблизительно эквивалентно или приблизительно эквивалентно количеству кислоты, вводимой на стадиях выщелачивания и/или очистки. Например, если очищенный ПРВ имеет высокую чистоту, может не потребоваться очень высокая скорость выпуска из кристаллизатора для управления чистотой кристаллизованных сульфатов никеля (например, как описано выше); однако, тем не менее, может потребоваться увеличение скорости выпуска из кристаллизатора, чтобы обеспечить образование достаточного количества гидроксидов никеля для использования выше по потоку. В других случаях скорость, с которой маточный раствор выпускают из кристаллизатора и подщелачивают с образованием гидроксидов никеля, можно регулировать таким образом, чтобы количество гидроксидов никеля, образующихся в сочетании с добавленным количеством внешнего нейтрализующего агента, было по меньшей мере приблизительно эквивалентно количеству кислоты, вводимой на стадиях выщелачивания и/или очистки; однако количество добавляемого внешнего нейтрализующего агента можно поддерживать достаточно низким, чтобы при использовании внешнего нейтрализующего агента не вводились примеси (например, примесные катионы металлов) в концентрации, которая может повлиять на чистоту кристаллизованных сульфатов никеля. В таких случаях для управления капитальными и/или эксплуатационными затратами можно использовать сочетание образовавшихся гидроксидов никеля и внешнего нейтрализующего агента. Кроме того, скорость, с которой гидроксиды никеля дозируют в процесс выше по потоку, можно регулировать заданным значением рН для указанного процесса (например, выщелачивания, очистки и т.д.).

Кроме того, использование основных солей металлов (например, гидроксидов никеля) в качестве нейтрализующего агента может превратить основные соли металлов обратно в сульфаты металлов в очищенном ПРВ. Очищенный ПРВ, содержащий преобразованные сульфаты металлов, можно затем направлять в кристаллизатор, где преобразованные сульфаты металлов можно кристаллизовать и выделять из маточного раствора. Этот контур выделения и подщелачивания маточного раствора для преобразования не кристаллизованных сульфатов металлов в растворе в основные соли металлов и использования этих основных солей металлов в качестве нейтрализующих агентов для преобразования основных солей металлов обратно в сульфаты металлов, которые затем можно выделять путем кристаллизации, может способствовать повышению

выхода выделенных кристаллизованных сульфатов металлов, полученных из определенного сырья.

В дополнение к использованию основных солей металлов, например, гидроксидов никеля, в качестве нейтрализующего агента, в способе можно использовать внешние источники нейтрализующих агентов (например, добавленные оксиды, гидроксиды и т.д.) на стадиях очистки для нейтрализации кислот и/или для подщелачивания маточного раствора, выходящего из кристаллизатора (также называемые здесь вторыми нейтрализующими агентами). Выбор типа (типов) и количества (количеств) внешнего нейтрализующего агента может зависеть, по меньшей мере частично, от природы стадий очистки и типа сульфата никеля и других компонентов в маточном растворе. Существуют различные типы внешних нейтрализующих агентов, которые могут подходить для использования на стадиях очистки и/или для использования при подщелачивании маточного раствора. Подходящие внешние нейтрализующие агенты могут включать, помимо прочего, гидроксид калия (KOH), гидроксид кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), гидроксид натрия (NaOH), гидроксид лития (LiOH) или оксид магния (MgO). Например, в качестве внешнего нейтрализующего агента можно использовать любое одно соединение из гидроксида калия (KOH), гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), гидроксида натрия (NaOH), гидроксида лития (LiOH) и оксида магния (MgO), или их сочетание. Существуют типы внешних нейтрализующих агентов, которые могут быть менее подходящими для использования на стадиях очистки и/или для использования при подщелачивании маточного раствора. Например, использование аммиака в качестве внешнего нейтрализующего агента может привести к образованию двойных солей, таких как соли сульфата никеля и аммония или комплексы никеля. Такие катионы, соли или комплексы могут сделать процессы менее осуществимыми и/или увеличить эксплуатационные и капитальные затраты из-за наличия необходимых контуров экстракции растворителем.

Количество внешнего нейтрализующего агента можно выбирать в зависимости от природы стадий очистки. Например, если присутствует высокая концентрация меди, которую необходимо удалить на стадии очистки, то может потребоваться высокая концентрация/объем нейтрализующего агента для нейтрализации любой кислоты, образующейся на стадии экстракции меди растворителем. Кроме того, если присутствует высокая концентрация Fe, которое необходимо удалить на стадии очистки, тогда потребуется высокая концентрация/объем нейтрализующего агента для повышения pH и удаления Fe путем гидролиза.

Тип внешнего нейтрализующего агента можно выбирать для образования и извлечения посредством стадии извлечения соли, определенного побочного продукта,

такого как побочный продукт, который имеет товарную ценность. Например, если в качестве внешнего нейтрализующего агента выбран гидроксид калия, то его использование может привести к образованию сульфата калия (K_2SO_4), удобрения. Если в качестве внешнего нейтрализующего агента выбран гидроксид кальция, то при его использовании может образовываться гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), продукт, который можно утилизировать как отходы или использовать в гипсокартоне и строительстве. Если в качестве внешнего нейтрализующего агента выбран оксид магния (MgO), то при его использовании может образоваться сульфат магния. Если в качестве внешнего нейтрализующего агента выбран гидроксид лития ($LiOH$), то его использование может привести к образованию сульфата лития.

Тип внешнего нейтрализующего агента также можно выбирать на основе его способности извлекаться посредством стадии извлечения соли и регенерироваться, чтобы нейтрализующий агент можно было использовать в процессе, а затем регенерировать для повторного использования. Например, если в качестве внешнего нейтрализующего агента выбран гидроксид натрия, то его использование может привести к образованию сульфата натрия в качестве побочного продукта. Гидроксид натрия можно регенерировать из сульфата натрия электролизом. Как правило, электролиз может непосредственно превращать побочный продукт сульфат натрия обратно в гидроксид натрия для повторного использования в процессе с образованием серной кислоты во время превращения. В частности, при электролизе используют приложенный электрический потенциал и одну или более ионоселективных мембран для регенерации кислоты и основания из раствора соли, и его проводят с использованием электрохимической ячейки, которая может содержать два или более отсеков, разделенных селективной мембраной (мембранами). Например, электролиз может включать трехкамерную ячейку, работающую при напряжении 6 В с плотностью тока от 1500 до 3000 A/m^2 , которая может производить примерно 20 масс.% раствор гидроксида натрия вместе с примерно 10 масс.% раствора серной кислоты из сульфата натрия, оба из которых можно рециркулировать для использования в процессе выше по потоку. Если в качестве внешнего нейтрализующего агента выбран $LiOH$, то его использование может привести к образованию сульфата лития, который может быть преобразован обратно в $LiOH$ с использованием последующей стадии восстановления, такой как подщелачивание и кристаллизация или электролиз, или может быть превращен в карбонат лития в качестве товарного продукта.

В одном или более воплощениях в описанном в этом документе способе не используют контуры экстракции растворителем для выделения кристаллизованных сульфатов никеля аккумуляторного качества. В одном или более воплощениях описанный

в этом документе способ способствует снижению капитальных и эксплуатационных затрат, увеличению выхода кристаллизованных сульфатов никеля и/или уменьшению количества сульфата натрия в качестве твердых отходов или его устранению (когда гидроксид натрия используют в качестве внешнего нейтрализующего агента и сульфат натрия снова превращают в гидроксид натрия посредством электролиза или когда количество требуемого внешнего нейтрализующего агента уменьшается).

Примеры

Пример 1

На фиг. 1 показана схема способа прямого рафинирования FeNi (железоникелевого) сплава в соответствии с одним воплощением настоящего изобретения. FeNi сплав подвергают окислительному выщелачиванию под давлением (ОКД), за которым следует удаление твердых частиц, а затем цементация меди. Медь, удаленную посредством цементации на стадии цементации меди, затем возвращают обратно в процесс выщелачивания ОКД. Медь, удаленную посредством цементации на стадии цементации меди, можно подвергать предварительному выщелачиванию перед рециркуляцией обратно в процессе выщелачивания ОКД. Дальнейшие стадии обработки могут включать удаление железа и получение сульфата никеля. Дальнейшие стадии обработки могут включать кристаллизацию гидроксида никеля. В одном или более воплощениях способ включает дополнительную обработку с осаждением гидроксида никеля для использования выше по потоку в настоящем способе, в том числе в сочетании с цементацией меди и/или удалением железа.

В этом примере гранулированные/измельченные FeNi частицы подают непосредственно в автоклав ОКД для ОКД выщелачивания в присутствии меди; выщелачивание и получение гематита происходят в одной элементарной операции.

Пример 2

Способ по примеру 1 можно осуществлять со следующей модификацией: вместо непосредственной обработки FeNi сплава посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД), FeNi сплав можно вместо этого обрабатывать посредством выщелачивания в сосуде (таком как колонна) в присутствии пероксида и серной кислоты.

В качестве альтернативы или дополнения к выщелачиванию ОКД в присутствии меди, описанному в примере 1 и на фиг. 1, можно использовать пероксид водорода в качестве окислителя при колонном выщелачивании для растворения ферроникеля в присутствии серной кислоты. В этом примере порции FeNi сплава (имеющие больший

размер частиц, чем гранулированные/измельченные FeNi частицы из примера 1) подают в колонну выщелачивания пероксидом/серной кислотой, тем самым выщелачивая ферроникель в одну стадию. На второй стадии раствор, выходящий из колонны выщелачивания, направляют на ОКД для осаждения гематита. В этом примере медь не добавляли на стадии ОКД. В этом процессе ПРВ ОКД (или второй отработанный щелок) можно рециркулировать в контур выщелачивания с помощью пероксида для снижения потребления кислоты и увеличения концентрации никеля. При увеличении концентрации никеля работа в автоклаве может обеспечить высокую кислотность и повышенный выход железа. Поскольку концентрацию никеля регулируют потоком рециркуляции ПРВ, стабильность условий работы автоклава может быть улучшена. Еще одно преимущество ПРВ с высокой концентрацией никеля может заключаться в снижении расхода ниже по потоку для получения никеля, что способствует снижению капитальных затрат.

Коэффициент рециркуляции ПРВ можно регулировать для уменьшения образования основных сульфатов или гетита. Желаемым железным продуктом в этом процессе является гематит из-за его высокого содержания железа, низкого содержания серы и потенциальной товарности.

После окислительного выщелачивания примеры можно проводить таким же образом, включая удаление твердых частиц и затем цементацию меди (если на окислительное выщелачивание добавляли медь). Дальнейшие стадии обработки могут включать стадии, перечисленные выше для примера 1.

Пример 3

Способ по примеру 1 можно осуществлять со следующей модификацией: вместо непосредственной обработки FeNi сплава посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД), FeNi сплав можно вместо этого обрабатывать посредством выщелачивания в сосуде (таком как колонна) в присутствии добавленной меди.

В качестве альтернативы или дополнения к ОКД выщелачиванию в присутствии меди, описанному в примере 1 и на фиг. 1, медь можно использовать в качестве окислителя в колонном выщелачивании для растворения ферроникеля. Добавляемая медь может представлять собой любой подходящий источник ионов меди, такой как раствор сульфата меди. Обработка может быть с предварительной обработкой, такой как гранулирование или измельчение FeNi сплава, или без нее. Обработку можно проводить как в одну стадию, так и в несколько стадий. После обработки медь можно удалять цементированием в виде губок и выпускать из колонны. Медь можно рециркулировать.

Например, медь можно возвращать на стадию окислительного выщелачивания или в процесс прямого выщелачивания ОКД, такой как в примере 1.

Воплощения

1. Способ рафинирования железоникелевого сплава, включающий обработку железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания.

2. Способ по воплощению 1, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД).

3. Способ по воплощению 1 или 2, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава в присутствии меди.

4. Способ по любому из воплощений 1-3, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида.

5. Способ по любому из воплощений 1-4, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава в присутствии серной кислоты.

6. Способ по любому из воплощений 1-5, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава при атмосферном давлении в сосуде, таком как колонна.

7. Способ по любому из воплощений 4-6, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает:

проведение обработки пероксидом, включающей обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида и серной кислоты с получением отработанного щелока, и

проведение обработки ОКД, включающей обработку отработанного щелока посредством ОКД.

8. Способ по любому из воплощений 3-7, в котором медь обеспечивают в виде сульфида меди, оксида меди или сульфата меди.

9. Способ по любому из воплощений 1-8, дополнительно включающий предварительную обработку железоникелевого сплава перед обработкой железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания.

10. Способ по воплощению 9, в котором предварительная обработка железоникелевого сплава включает уменьшение размера частиц, такое как измельчение или гранулирование.

11. Способ по любому из воплощений 1-10, в котором при окислительном выщелачивании получают отработанный щелок и по меньшей мере часть отработанного щелока возвращают на окислительное выщелачивание.

12. Способ по воплощению 7, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает:

проведение обработки пероксидом, включающей обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида с получением первого отработанного щелока,

проведение обработки ОКД, включающей обработку железоникелевого сплава посредством ОКД с получением второго отработанного щелока, и

возвращение по меньшей мере части второго отработанного щелока на обработку пероксидом.

13. Способ по воплощению 12, в котором возвращение второго отработанного щелока на обработку пероксидом повышает концентрацию никеля при обработке пероксидом.

14. Способ по воплощению 12 или 13, в котором возвращение второго отработанного щелока на обработку пероксидом регулирует pH обработки пероксидом.

15. Способ по любому из воплощений 1-14, дополнительно включающий получение железистого продукта.

16. Способ по воплощению 15, в котором получение железистого продукта включает получение гематита, ярозита или гетита.

17. Способ по воплощению 16, в котором получение железистого продукта включает селективное удаление железа в форме гематита посредством окисления под давлением (ОКД) железоникелевого сплава.

18. Способ по любому из воплощений 3-17, дополнительно включающий стадию извлечения меди после окислительного выщелачивания для извлечения по меньшей мере части меди.

19. Способ по воплощению 18, в котором стадия извлечения меди включает стадию экстракции растворителем, стадию электролитического выделения, стадию цементации, стадию сульфидирования, стадию регулирования pH, стадию ионного обмена или стадию окисления под давлением.

20. Способ по воплощению 19, в котором стадия извлечения меди включает стадию цементации, на которой для цементации меди обеспечивают часть железоникелевого сплава или порошок никеля.

21. Способ по воплощению 19 или 20, в котором стадия извлечения меди включает стадию цементации в сосуде, таком как колонна.

22. Способ по любому из воплощений 18-21, в котором по меньшей мере часть извлеченной меди возвращают выше по потоку на стадию обработки железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания или на стадию предварительного выщелачивания выше по потоку от стадии обработки посредством окислительного выщелачивания.

23. Способ по любому из воплощений 3-22, в котором медь добавляют в процесс в течение стадии цементации меди, окислительного выщелачивания или стадии предварительного выщелачивания выше по потоку от окислительного выщелачивания.

24. Способ по любому из воплощений 3-23, в котором медь включает медьсодержащий поток из установки производства меди.

25. Способ по любому из воплощений 1-24, дополнительно включающий получение никелевого продукта.

26. Способ по воплощению 25, в котором при окислительном выщелачивании получают отработанный щелок, включающий не кристаллизованный сульфат металла, и получение никелевого продукта включает кристаллизацию не кристаллизованного сульфата металла с образованием кристаллизованного сульфата никеля или совместно кристаллизованного сульфата никеля и кобальта в маточном растворе.

27. Способ по воплощению 26, в котором никелевый продукт представляет собой кристаллизованный сульфат никеля.

28. Способ по воплощению 26 или 27, дополнительно включающий очистку отработанного щелока перед кристаллизацией.

29. Способ по любому из воплощений 26-28, дополнительно включающий отделение кристаллизованного сульфата никеля или совместно кристаллизованного сульфата никеля и кобальта от маточного раствора.

30. Способ по воплощению 29, в котором маточный раствор включает остаточный не кристаллизованный сульфат металла, и способ дополнительно включает подщелачивание части маточного раствора для превращения остаточного не кристаллизованного сульфата металла в основную соль металла.

31. Способ по воплощению 30, дополнительно включающий использование основной соли металла выше по потоку от кристаллизации сульфата металла.

32. Способ по воплощению 31, в котором использование основной соли металла выше по потоку включает превращение основной соли металла обратно в не кристаллизованный сульфат металла.

33. Усовершенствованный способ прямого рафинирования железоникелевого сплава, где усовершенствование включает обеспечение меди при выщелачивании железоникелевого сплава.

34. Способ по воплощению 33, в котором выщелачивание железоникелевого сплава включает окислительное выщелачивание.

35. Способ получения никелевого продукта, включающий:

обработку сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания с образованием подвергнутого выщелачиванию материала, который включает никель и железо;

удаление по меньшей мере части железа из подвергнутого выщелачиванию материала и

извлечение никелевого продукта.

36. Способ по воплощению 35, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД).

37. Способ по воплощению 35 или 36, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии меди.

38. Способ по любому из воплощений 35-37, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии пероксида.

39. Способ по любому из воплощений 35-38, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии серной кислоты.

40. Способ по воплощению 38 или 39, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава при атмосферном давлении в сосуде, таком как колонна.

41. Способ по любому из воплощений 38-40, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает:

проведение обработки пероксидом, включающей обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии пероксида, и

проведение обработки ОКД, включающей обработку сырья из железоникелевого сплава посредством ОКД.

42. Способ по любому из воплощений 35-41, дополнительно включающий удаление примесей из подвергнутого выщелачиванию материала.

43. Способ по любому из воплощений 35-42, в котором никелевый продукт включает сульфат никеля, совместно кристаллизованный материал из сульфата никеля и кобальта или никелевый материал аккумуляторного качества.

44. Способ по любому из воплощений 35-43, в котором извлечение никелевого продукта включает кристаллизацию, осаждение или электролитическое выделение.

45. Способ по воплощению 44, в котором кристаллизация включает кристаллизацию не кристаллизованного сульфата никеля из подвергнутого выщелачиванию материала с образованием кристаллизованного сульфата никеля в маточном растворе.

46. Способ по воплощению 45, дополнительно включающий отделение кристаллизованного сульфата никеля от маточного раствора.

47. Способ по воплощению 46, в котором маточный раствор включает остаточный не кристаллизованный сульфат никеля, и способ дополнительно включает подщелачивание части маточного раствора для превращения остаточного не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля.

48. Способ по воплощению 47, дополнительно включающий использование основной соли никеля выше по потоку от кристаллизации соли никеля.

49. Способ по воплощению 48, в котором использование основной соли никеля выше по потоку включает превращение основной соли никеля обратно в не кристаллизованный сульфат никеля.

50. Способ получения никелевых продуктов из ферроникеля, который способствует сведению к минимуму отходов и воздействия на окружающую среду путем получения пригодного для использования продукта - гематита из железа, товарного продукта сульфата калия из сульфата и комбинированного концентрированного потока примесей, предназначенного для использования в качестве входящего потока для других металлургических процессов.

Описанные в данном документе воплощения приведены только в качестве примеров. Специалисты в данной области техники могут внести изменения, модификации и вариации в конкретные воплощения. Объем формулы изобретения не должен ограничиваться конкретными воплощениями, изложенными в данном документе, но должен толковаться в соответствии с описанием в целом.

Все публикации, патенты и заявки на патенты, указанные в настоящем описании, указывают на уровень квалификации специалистов в области, к которой относится данное изобретение, и включены сюда посредством ссылки в той же степени, как если бы каждая отдельная публикация, патент или заявка на патент была конкретно и отдельно указана для включения посредством ссылки.

При таком описании изобретения очевидно, что оно может быть изменено многими способами. Такие изменения не следует рассматривать как отклонение от сущности и объема изобретения, и все такие модификации, очевидные для специалиста в данной области техники, должны быть включены в объем нижеследующей формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ рафинирования железоникелевого сплава, включающий обработку железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания.

2. Способ по п.1, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД).

3. Способ по п.1 или п.2, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава в присутствии меди.

4. Способ по любому из пп.1-3, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида.

5. Способ по любому из пп.1-4, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава в присутствии серной кислоты.

6. Способ по любому из пп.1-5, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку железоникелевого сплава при атмосферном давлении в сосуде, таком как колонна.

7. Способ по любому из пп.4-6, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает:

проведение обработки пероксидом, включающей обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида и серной кислоты с получением отработанного щелока, и

проведение обработки ОКД, включающей обработку отработанного щелока посредством ОКД.

8. Способ по любому из пп.3-7, в котором медь обеспечивают в виде сульфида меди, оксида меди или сульфата меди.

9. Способ по любому из пп.1-8, дополнительно включающий предварительную обработку железоникелевого сплава перед обработкой железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания.

10. Способ по п.9, в котором предварительная обработка железоникелевого сплава включает уменьшение размера частиц, такое как измельчение или гранулирование.

11. Способ по любому из пп.1-10, в котором при окислительном выщелачивании получают отработанный щелок и по меньшей мере часть отработанного щелока возвращают на окислительное выщелачивание.

12. Способ по п.7, в котором обработка железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает:

проведение обработки пероксидом, включающей обработку железоникелевого сплава в присутствии пероксида с получением первого отработанного щелока,

проведение обработки ОКД, включающей обработку железоникелевого сплава посредством ОКД с получением второго отработанного щелока, и

возвращение по меньшей мере части второго отработанного щелока на обработку пероксидом.

13. Способ по п.12, в котором возвращение второго отработанного щелока на обработку пероксидом повышает концентрацию никеля при обработке пероксидом.

14. Способ по п.12 или п.13, в котором возвращение второго отработанного щелока на обработку пероксидом регулирует pH обработки пероксидом.

15. Способ по любому из пп.1-14, дополнительно включающий получение железистого продукта.

16. Способ по п.15, в котором получение железистого продукта включает получение гематита, ярозита или гетита.

17. Способ по п.16, в котором получение железистого продукта включает селективное удаление железа в форме гематита посредством окисления под давлением (ОКД) железоникелевого сплава.

18. Способ по любому из пп.3-17, дополнительно включающий стадию извлечения меди после окислительного выщелачивания для извлечения по меньшей мере части меди.

19. Способ по п.18, в котором стадия извлечения меди включает стадию экстракции растворителем, стадию электролитического выделения, стадию цементации, стадию сульфидирования, стадию регулирования рН, стадию ионного обмена или стадию окисления под давлением.

20. Способ по п.19, в котором стадия извлечения меди включает стадию цементации, на которой для цементации меди обеспечивают часть железоникелевого сплава или порошок никеля.

21. Способ по п.19 или п.20, в котором стадия извлечения меди включает стадию цементации в сосуде, таком как колонна.

22. Способ по любому из пп.18-21, в котором по меньшей мере часть извлеченной меди возвращают выше по потоку на стадию обработки железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания или на стадию предварительного выщелачивания выше по потоку от стадии обработки посредством окислительного выщелачивания.

23. Способ по любому из пп.3-22, в котором медь добавляют в процесс в течение стадии цементации меди, окислительного выщелачивания или стадии предварительного выщелачивания выше по потоку от окислительного выщелачивания.

24. Способ по любому из пп.3-23, в котором медь включает медьсодержащий поток из установки производства меди.

25. Способ по любому из пп.1-24, дополнительно включающий получение никелевого продукта.

26. Способ по п.25, в котором при окислительном выщелачивании получают отработанный щелок, включающий не кристаллизованный сульфат металла, и получение никелевого продукта включает кристаллизацию не кристаллизованного сульфата металла

с образованием кристаллизованного сульфата никеля или совместно кристаллизованного сульфата никеля и кобальта в маточном растворе.

27. Способ по п.26, в котором никелевый продукт представляет собой кристаллизованный сульфат никеля.

28. Способ по п.26 или п.27, дополнительно включающий очистку отработанного щелока перед кристаллизацией.

29. Способ по любому из пп.26-28, дополнительно включающий отделение кристаллизованного сульфата никеля или совместно кристаллизованного сульфата никеля и кобальта от маточного раствора.

30. Способ по п.29, в котором маточный раствор включает остаточный не кристаллизованный сульфат металла, и способ дополнительно включает подщелачивание части маточного раствора для превращения остаточного не кристаллизованного сульфата металла в основную соль металла.

31. Способ по п.30, дополнительно включающий использование основной соли металла выше по потоку от кристаллизации сульфата металла.

32. Способ по п.31, в котором использование основной соли металла выше по потоку включает превращение основной соли металла обратно в не кристаллизованный сульфат металла.

33. Усовершенствованный способ прямого рафинирования железоникелевого сплава, где усовершенствование включает обеспечение меди при выщелачивании железоникелевого сплава.

34. Способ по п.33, в котором выщелачивание железоникелевого сплава включает окислительное выщелачивание.

35. Способ получения никелевого продукта, включающий:

обработку сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания с образованием подвергнутого выщелачиванию материала, который включает никель и железо;

удаление по меньшей мере части железа из подвергнутого выщелачиванию материала и

извлечение никелевого продукта.

36. Способ по п.35, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания под давлением (ОКД).

37. Способ по п.35 или п.36, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии меди.

38. Способ по любому из пп.35-37, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии пероксида.

39. Способ по любому из пп.35-38, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии серной кислоты.

40. Способ по п.38 или п.39, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает обработку сырья из железоникелевого сплава при атмосферном давлении в сосуде, таком как колонна.

41. Способ по любому из пп.38-40, в котором обработка сырья из железоникелевого сплава посредством окислительного выщелачивания включает:

проведение обработки пероксидом, включающей обработку сырья из железоникелевого сплава в присутствии пероксида, и

проведение обработки ОКД, включающей обработку сырья из железоникелевого сплава посредством ОКД.

42. Способ по любому из пп.35-41, дополнительно включающий удаление примесей из подвергнутого выщелачиванию материала.

43. Способ по любому из пп.35-42, в котором никелевый продукт включает сульфат никеля, совместно кристаллизованный материал из сульфата никеля и кобальта или никелевый материал аккумуляторного качества.

44. Способ по любому из пп.35-43, в котором извлечение никелевого продукта включает кристаллизацию, осаждение или электролитическое выделение.

45. Способ по п.44, в котором кристаллизация включает кристаллизацию не кристаллизованного сульфата никеля из подвергнутого выщелачиванию материала с образованием кристаллизованного сульфата никеля в маточном растворе.

46. Способ по п.45, дополнительно включающий отделение кристаллизованного сульфата никеля от маточного раствора.

47. Способ по п.46, в котором маточный раствор включает остаточный не кристаллизованный сульфат никеля, и способ дополнительно включает подщелачивание части маточного раствора для превращения остаточного не кристаллизованного сульфата никеля в основную соль никеля.

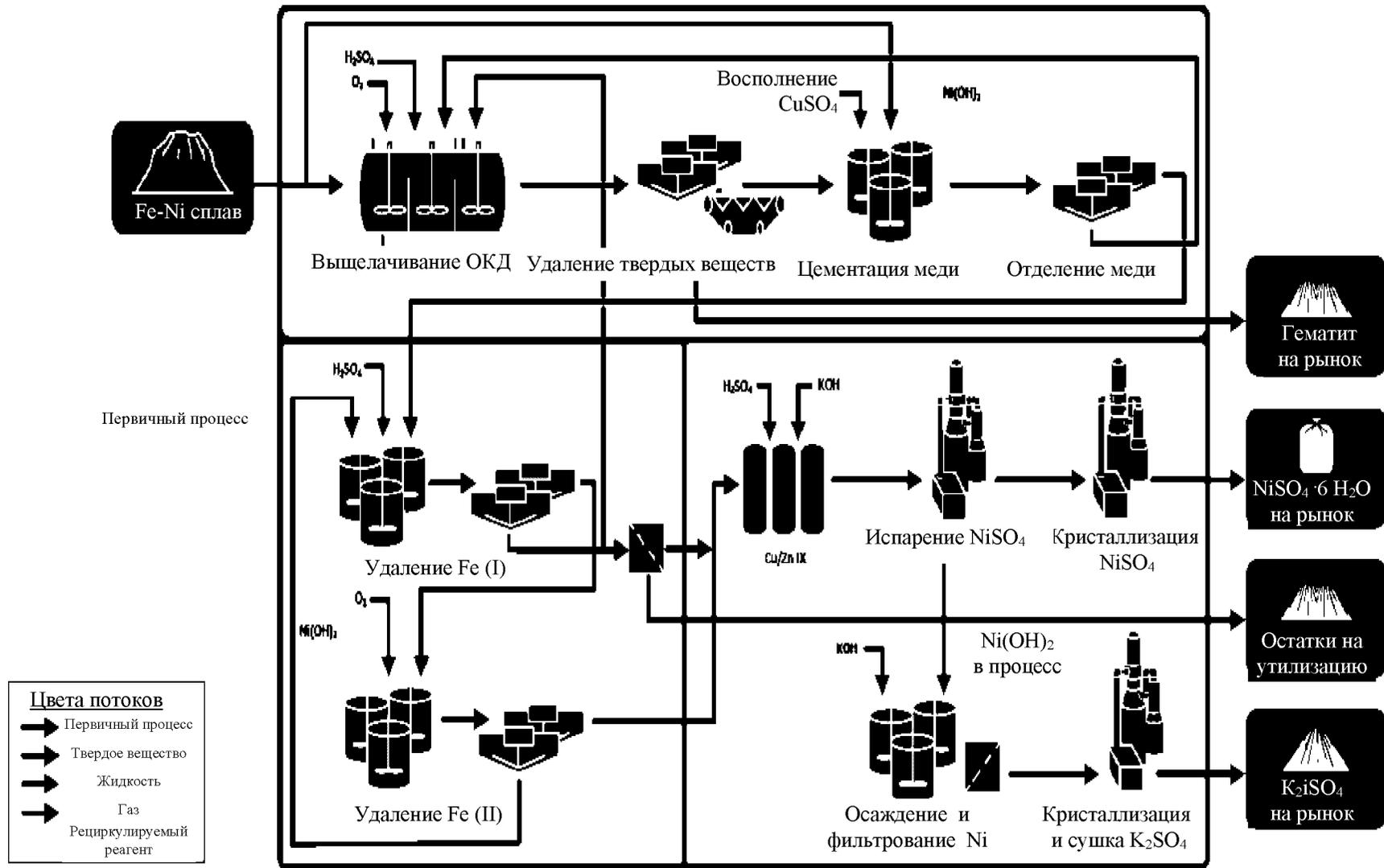
48. Способ по п.47, дополнительно включающий использование основной соли никеля выше по потоку от кристаллизации соли никеля.

49. Способ по п.48, в котором использование основной соли никеля выше по потоку включает превращение основной соли никеля обратно в не кристаллизованный сульфат никеля.

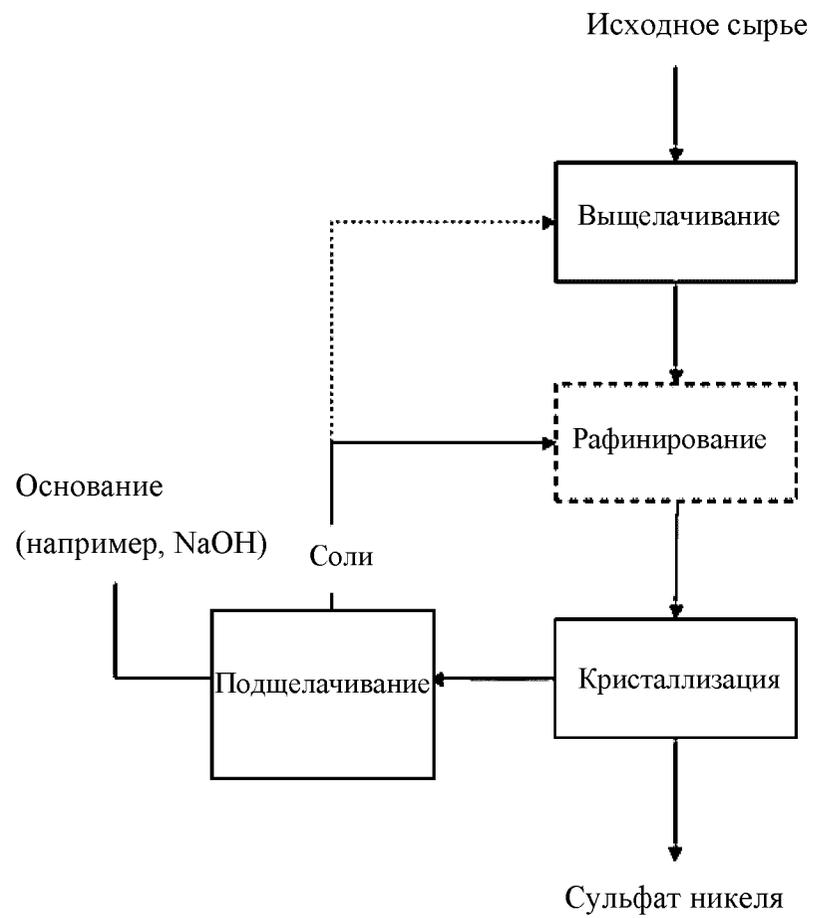
50. Способ получения никелевых продуктов из ферроникеля, который способствует сведению к минимуму отходов и воздействия на окружающую среду путем получения пригодного для использования продукта - гематита из железа, товарного продукта сульфата калия из сульфата и комбинированного концентрированного потока примесей, предназначенного для использования в качестве входящего потока для других металлургических процессов.

Удаление Fe

Прямое рафинирование FeNi



Фиг. 1



Фиг. 2